

C2)- ZİGANA TÜNELİNDE S DALGASININ ELDE EDİLMESİ İLE VE KAYALARIN DİNAMİK ELASTİSİTE MODULÜNÜN YERİNDE VE LABORATUVARDA SAPTANMASI

ÖZET

Sahada yerinde yapılan iki ve ayrıca üç laboratuvar tekniğinin bir tek amaç için yani "Zigana Tüneli" içindeki ezilme zonlarının önceden saptanması bu çalışmaların esasını oluşturmaktadır. Ezilme ve fay zonlarının önceden saptanması ile ilgili çalışmalar, tünel eksenini üzerinde yüzeyden ve ayrıca açılmakta olan tünelin içinden yapılan jeofizik araştırmaları kapsamaktadır.

Ölçülen parametreler sırasıyla; saha yerinde P ve S dalga hızları, P dalgası sönümleri ve elektrik rezistivite değerleri olmaktadır. Laboratuvarda kaya numuneleri üzerinde yapılan çalışmalar ise; statik elastisite modülü, sıkışma dayanım direnci, rezistivite, dinamik elastisite ve dinamik Poisson oranının bulunmasıdır.

GİRİŞ

Mühendislik sismolojisi jeofiziğinin önemli bir bölümü olup, zemin mühendislerini ve mühendislik jeolojisi yapan jeologları yakından ilgilendirmektedir. Günümüzde mühendislik jeofiziğinde toprak ve kayaların dinamik özelliklerinin araştırılması yönünden kesme (veya S) dalgasının oynadığı rol, eskisine göre çok daha büyük yer tutmaktadır. Bunun nedeni dinamik yüklere maruz kalan karayolu, karayolları tünelleri, demiryolları ve havaalanları temellerinde meydana gelen bozulmaların zemini oluşturan malzemelerin çökmesi sonucu orta çıkmasıdır.

TCK Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü Jeofizik ekibice, 10 Haziran -10 Ağustos 1976 tarihleri arasında Zigana Tünelinde bir jeofizik araştırma programı uygulanmıştır.

Zigana Tünelinin açılmış bulunan 800 metrelik kesiminde içerden ve ayrıca tüm tünel kesiti üzerinde yüzeyden sismik kırılma ve elektrik rezistivite çalışmaları yapılmıştır.

Karşılıklı atışlarla gerçekleştirilen sismik kırılma çalışmaları sonunda yerinde kesme dalga hızı ve P dalga hızları saptanarak, E yani dinamik elastisite modülünün tünel boyunca değişimi incelenebilmiştir. Tünel içinde yapılan Wenner Elektrik ölçü yöntemi ile elde edilen rezistivite eğrileri, sismik kırılma çalışmaları sırasında karşılaşılan düşük hız tabakalarının kalınlıklarının saptanmasında oldukça faydalı bilgiler vermiştir. Bu çalışmalar ayrıca tek başına sismik kırılma çalışmalarının yeterli

olmadığını ortaya koyduğu gibi rezistivite yönteminin fay ve ezilme zonu kalınlıklarının saptanmasında çok etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir (Ref 10).

SAHANIN JEOLJİSİ

Gümüşhane-Trabzon arasında açılımı hala devam etmekte olan 1600 metre uzunluğundaki Zigana Tünelinin, çevresinde ve tünel ekseninde çeşitli yıllarda ayrıntılı jeolojik çalışmalar yapılmıştır. TCK Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü sondaj ekibince **Şekil 1'de** görülen kesit üzerinden tünel kotuna kadar inen derin mekanik sondajlar yapılmış ve sürekli karot alınmıştır (Acar,1975). Tünel jeolojisinin maden jeolojisi ile ilgili ayrıntılı jeolojik çalışmalar MTA tarafından (Yılmaz, 1975) tamamlanmış ve 1/5000 ölçekli haritada ayrıntılı bilgiler verilmiştir. **Şekil 2'de** bu çalışmalar sonucunda elde edilen ve tünel içerisindeki fayların doğrultularına ait bir gül diyagram görülmektedir. Bu diyagramın incelenmesinde fayların N(10° - 20°) W yönünde yoğunlaştığı görülür. Aynı şekil üzerinde tünelin kazılmakta olduğu N40°E doğrultusu işlendiğinde tünel ile ana fay doğrularının 50° - 60° arasında bir açı yaptığı dikkati çeker. Tünel içindeki fay doğrultularının (Yılmaz, 1975) tarafından yapılan ayrıntılı jeolojik haritada sahada en geç kaya olarak belirlenen andezitik dayklara paralel olduğu görülmektedir. Gerek yüzeyden ve gerekse tünel içinden açılan numunelerin mikroskobik analizleri sonunda, hakim durudaki kayanın piroklastik dasit olduğu saptanmıştır. Tünel içinde birçok kesimlerde çeşitli cevher damarları taşıyan dasitin önemli şekilde faylanmalara maruz kaldığı izlenmektedir (**Şekil 1-3**). Genellikle yeraltı suyunun serbest hareketini sağlayan bu faylar önemli ölçüde suyu tünel içine boşaltmaktadır. Yeraltı suyu faaliyetleri nedeniyle dasit ayrılmış ve ayrışma sonunda limonitleşme, klotritleşme, ve kaolinleşme meydana gelmiştir. Faylanma ve ayrışma sonunda tünelin belirli yerlerinde önemli derecede kaya düşmeleri görülen faylar "X" işareti ile belirlenmiştir. Kaya düşmesi gösteren fayların tünel koyunu kestiği seviyelerde örneğin; Km: 53+990'da tünel içerisine çok düşük rezistivite değerleri ile karakterize edilen (6-7 ohm) ve içerisinde aşırı derecede fazla SO₄ taşıyan aşındırıcı sular boşalmaktadır. Bu sularda litrede 1472 mg. sülfat bulunmuştur. (Tünele inen suların korezif derecesi jeofizik ölçüleriyle bulunmasından kısa bir süre sonra tüneli açan firmaya aşındırıcı suya dayanıklı farklı bir çimentonun kullanılması gerektiği TCK Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğüne bildirildi). Gerek kaya düşmesi ve gerekse mineralizasyon gösteren fayların eğimi tünelin açılmayan tabanında kesik çizgilerle belirlenmiştir. Ayrıca Km: 52+212'de 25 cm kalınlığında pirit ve kurşun cevheri içeren bir damar görülmüştür.

Tünelin İçinde Karşılıklı Atışlarla Gerçekleştirilen Sismik Kırılma Çalışmaları

Sismik kırılma çalışmaları, tünelin üstünden de yapılmış olmasına karşın araştırmaların büyük bir kısmı, tünel içinde ve tünel çıkışında açılmış bulunan 800 m.lik bölümünde yoğunlaşmıştır. **Şekil-3'de** 53+870-54+550 arasında karşılıklı atışlarla tamamlanmış bulunan çalışma ile ilgili, sismik profiller görülmektedir.

Tünelin genişletilmiş bulunan tabanındaki kesim ile ilgili bilgiler, araştırmaların esas amacını oluşturmaktadır.

Kesme Dalgasının (S) Engineering Seismograph Aygıtıyla Yerinde Saptanması

Etüt sahasından laboratuvara getirilen numuneler üzerinde yapılan dinamik denemeler, ancak sağlam karotlar üzerinde tamamlanabilmektedir. Etüt sahasında irili ufaklı bir çok fay ve ezilme zonlarının mevcut olması ve bu malzemelerin gerçekten tüneli temsil edebilecek özellikte olmaları yerinde yapılacak çalışmaların önemini daha da artırmaktadır. Dinamik elastisite modülünün sadece laboratuvar şartlarında değil, aynı zamanda sahadaki jeolojik birimleri gerçek tektonik ve litolojik şartları içerisinde etüt edilmelerinde zorunluluk ve yarar vardır.

Zigana Tüneli içerisinde Nimbus firması tarafından imal edilen Engineering Seismograph aygıtı, P ve S dalgalarının kaydedilmesinde kullanılmıştır. Aygıtın sahada ölçülere hazırlanışı sırasında şu yönde bir program yapılmıştır. Tünel içinde genişletme çalışmaları sırasında, aralıklarla dinamit patlatmaları yapılmıştır. Tünel içine girilemediği bu günlerde dışına yerleştirilen 6 adet yatay jeofonun aletle bağlantısı yapıldıktan sonra patlamaların olduğu anlarda kayıtlar alınarak ilk denemelere girildi. İlk çalışmaların amacı, P ve S dalga varışlarını belirgin bir tarzda kayıt üzerinde seçebilmek için, çeşitli kazanç (gain) seviyelerinde kayıtlar alınarak çeşitli filtre devreleri için (HP,LP,AP,BP) birer örnek çıkarmaktı. Bulunan uygun frekans bandı ve aygıtın kazanç seviyesi gözüne tutularak tünel içindeki çalışmalara başlandı. Uygun ölçü değerleri aygıt üzerinden (50-LP.100) olarak saptanmıştı. Tünel içerisinde karşılıklı sismik atışlara başlandığı anda iki noktaya önem gösterildi. Bunlardan ilki, çalışmaların çevre gürültülerin en az olduğu sırada seçilmesiydi. Diğeri ise, sismik profiller seçildikten ve jeofonlar belirli bir yöne yöneldikten sonra profilin her iki ucunda kazılan dinamit çukurlarının su ile doldurulmasıydı. Dinamit çukuru içine su konmadan önce yapılan atışlarda S dalgasının açık bir şekilde kayıtlar üzerinde seçilemediği görülmüştür. Bundan böyle derinliği 15-25 cm. ve konik

biçimde kazılan dinamit çukuru içerisine su konmuş, özellikle 200 g dinamit yerleştirilmiş, bunun etrafına mümkün olduğu kadar simetriyi bozacak şekilde köşeli kaya parçaları yerleştirilmiştir. S dalgasının elde edilmesinde birçok araştırmacı patlatma noktasında simetrisinin bozulmasını önermekte ve su konması tavsiye etmektedir (Money,1974; Scoot,1966). Şekil 4'te sismik kırılma atışlarından elde edilen kayıtlardan bir örnek görülmektedir. Bu kayıta en altta kare şeklinde görülen kısım 10 milisaniye zaman aralığını göstermektedir. Bunun üzerine 6 adet yatay jeofona ait ilk varışlar görülmektedir. Bu kayıtlarda jeofon izlerinin ilk bozulma gösterdiği kısım, P dalgası veya boyuna olarak bilinen hızları 5000m/s.yi aşan dalgalara ait varışlardır. Jeofonlar sadece yatay yöndeki sismik daha iyi alabilmek için oluşturulduklarından P dalgaları ile ilgili varışlarda amplitütlerinin çok düşük olduğu görülür. Araştırmamızın temel amacı da enine titreşerek jeofona varan S dalgasının saptanması olduğundan kayıtlar üzerinde önemle durulacak konu P dalgasını takiben jeofonlara gelen kayma dalgasıdır. Şekil 4'te görüleceği gibi büyük amplitütlere sahip S dalgası, kayıtlardan üzerinde kolaylıkla seçilebilmektedir. S dalgasından sonra jeofon izlerinden de görülebileceği gibi uzun bir süre herhangi bir dalganın meydana gelmediği görülmektedir. Ancak kayıtlar üzerinde "A" harfi ile işaretlendirilen oldukça büyük amplitütlü dalgalarda gelmektedir. Bu dalgaların varış zamanları göz önüne alınarak yapılan hız hesaplamalarında bulunan değerler (330-340 m/s) arasında bulunmaktadır. Bilindiği gibi bu hız sesin havada yayıldığı hız değerine eşittir. Demek oluyor ki dinamitin patlatılması ile oluşan enerji, kaya içerisinden geçerek jeofonlara ulaşan P ve S dalgaları yanında havadan yayılarak jeofonlara ulaşmış olan bir dalgayı da içermektedir.

Mühendislik jeofiziği uygulamalarında en önemli parametreler, dinamik Poisson oranı P ve S dalga hızlarıdır. Ancak bu değerlerle birlikte yoğunluk bilinirse E değeri yani dinamik elastisite modülü hesaplanabilir. P ve S dalgalarının kayıt üzerinden varış zamanları hesaplanarak zaman-mesafe diyagramları oluşturulmalıdır. Bu diyagramların oluşturulmasından amaç, P ve S dalga hızlarının bulunmasıdır. Dalgaların varış sürelerini hassasiyetle okuyabilmek için "Leitz" marka bir mikroskop kullanılmıştır. Bu şekilde zaman-mesafe eğrileri üzerindeki hız değerleri hassasiyetle hesaplanabilmiştir.

Dinamik elastisite modülünün hesaplanması için aşağıdaki formüller kullanılmıştır:

$$E_d = V_p^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1-2\sigma) \cdot (1+\sigma)}{(1-\sigma)} \cdot \frac{10^5}{9.81} \text{ kg/cm}^2 \quad (1)$$

$$\rho = 0.2 \cdot V_p + 1.6 \quad (2) \quad \text{Büyükköse, 1975}$$

Burada E_d : Dinamik elastisite modülü (kg/cm^2) ρ : Kayanın yoğunluğu (g/cm^3)
 σ : Poisson oranı V_p : P dalga hızı V_s : S dalga hızı (km/s)

Yukarıdaki 2 ve 3 nolu bağıntılar yardımıyla formasyonun yalnızca P dalgası hızı bilindiğinden yoğunluk bulunabilmektedir. Bu çalışmalarda yoğunluk hesabı yukarıdaki 2 nolu formül yardımıyla yapılmıştır. Şekil 3'de tünel kilometresini belirleyen yatay eksen üzerinde sismik profiller yer almıştır. Her profil ucunda hesaplanan P dalga hızı, S dalga hızı ve ayrıca dinamik Poisson oranları belirlenmiştir. Tünel kesitinin hemen üstünde 1 nolu bağıntı kullanılarak saptanan dinamik elastisite modülü değerleri görülmektedir. Hesaplanan dinamik elastisite modülünün hangi yönde elde edilmiş olduğunu belirlemek amacıyla küçük oklar kullanılmıştır.

Bu şekilde P ve S dalgaları hızlarının çeşitli yönlerde gelişen kırık ve fay sistemlerinden ne ölçüde etkili olduklarını saptamak mümkün görülmektedir. Zira elastik dalgaların yayılımı sırasında bu kırık ve fay sistemlerinin etkili olması son derece mümkündür. Sismik kırılma çalışmaları başladığında tünelin özengi seviyesine kadar olan kısmı (AB hattı Şekil 5) açılmıştı. AB hattının altında 4 m.lik bir kesimin dinamitlenerek açılması, henüz başlanmamış olduğundan yapılan tüm jeofizik çalışmalar daha ziyade tabandaki kayanın araştırılmasına yönelik olmuştur. Bu nedenle sismik kırılma çalışmasının tamamlandığı hat üzerinde elektrot açıklığı 4 m. olacak şekilde bir sabit elektrot aralığı tamamlanmış bulunmaktadır. Derin rezistivite ve sismik kırılma çalışmalarından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Tünelin açılmış olan kesiminde elde edilen en düşük dinamik elastisite modülü değeri, Km : 54+220 ölçü noktasına eşit olmaktadır. Bu değer 215851 kg/cm^2 'dir.

E_d değerinin en büyük olduğu nokta S_5 (km : 54+298) noktası olup burada elde edilen değer : 486557 kg/cm²'dir (Şekil 3) . her ölçü noktasına ait Poisson oranı, V_p , V_s hızları ve ayrıca laboratuarda karotlar üzerinde elde edilen dinamik elastisite modülüne olan oranı (yani E_{dl} / E_{ds}) verilmiştir. Burada E_{dl} değerleri 437632 kg/cm² E_{ds} ise (215851-486557 kg/cm²) değerleri arasında bulunmuştur. E_{dl} / E_{ds} oranı s noktasında (km : 54+298) 0.89 olmakta, Km : 54+220 'de ise 2.25 değerine yükselmektedir. Bunun anlamı, laboratuvara sağlam karotlar üzerinde elde edile E değerinin, tünel içinde Faylanma ve ezilmelerle çimentolaşma derecesi azalmış bulunan yapıya ait verilerden iki misli daha fazla değerlere ulaştığıdır.

2. Sismik atışların yönlerine değişen E_d değerleri, Şekil 1-3'te kolaylıkla görülmektedir. Patlama noktalarının durumuna göre farklılıklar arz eden E_d değerler, muhtemel çatlak ve fay sistemlerinin doğrultu ve eğimlerinden etkilenmektedir.
3. 54+200 – 54+480 km arasında sismik kırılma atışlarının, ters yönlerde saptanan E_d değerinde önemli değişmeler görülmektedir. Burada dikkate değer nokta, yukarıdaki kilometreler arasında aynı zamanda sabit elektrot aralığı ölçümleriyle bulunan görünür özdirençte kısa mesafelerde önemli artma ve azalmaların görülmesidir. Gerek rezistivite değişimlerinin gerekse farklı yönlerde yapılan sismik atışlarda bulunan E_d değerlerinin pek az değişim gösterdiği yerler, 53+880 – 54+200 km arasındadır. Şekil 3'ten kolaylıkla görülebileceği gibi, en kk rezistivite değeri 54+500. km.de bulunmuştur. Bu değere yakın rezistivite değerleri 53+880 ile 54+200 km arası görülmektedir.
4. Tünelin birçok yerlerinde mevcut fayların eğimini izleyerek tünel içerisine boşalan yer altı suları saptanmıştır. Bu suların fazla olduğu kesim Şekil 1'de Km : 53+990'daki yerdir. Bu sular sadece tünelin belli bir kısmını oluşturan kayaların dayanma gücünü düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda aşırı derecede korezif olmaları nedeniyle kullanılacak çimentoya "kuvvetli" derecede kimyasal bozucu etkiler yapabilecektir (Din-4030). Bu durum göz önüne alınarak kullanılacak uygun imento cinsi saptanmıştır. Ayrıca yer altı suyu faylı bölgelerde açılan tünelde evre kayaların dayanma direncini azaltarak çökmelere neden olabilirler.
5. Kaya düşmesi gösteren faylar (bunlar fayların üzerinde (X) işareti ile belirtilmişlerdir) Şekil 1'de ve 3'te bu görülmektedir. Bu faylar, tüneli kestiği noktalardaki yerlerde düşük rezistiviteye sahip korezif suları tünel içerisine

boşaltılmaktadırlar. Kaya düşmesiyle karakterize edilen fayların en önemlisi 1-3 metre arasında ezilme zonuna sahip bulunan 53+8762daki faydır. Bu fay N30°W doğrultusunda olup saçılmış pirit cevheri içermektedir. Kloritleşme, kaolinleşme göstermekte olan bu fay tünel kotunda yatayla 68°lik bir açı yapmaktadır.

07.08.1976 tarihinde bu fayın 3 metrelik ezilme zonunda önemli ölçüde kaya çökmesi meydana gelmiştir. Bu sahanın tünel yapımı sırasında potansiyel kaya düşmesi gösterebileceği göz önünde tutulmalıdır.

6. Daha önce kazanılmış saha tecrübelerinden ve tünelin açılmış kesimi üzerinde yüzeyden derin elektrik sondajlarının mühendislik jeolojisi çalışmalarıyla saptanan faylarla olan ilişkisi göz önünde bulundurularak şu hususlar ortaya konmuştur:

Genellikle büyük fayların yoğunlaşmakta olduğu kesimlerde rezistivite düşüşleri son derece dikkate değerdir. Bu özellik, yapılan derin sondajlarla ortaya imkan sağlamaktadır (Kuran,1975). Örneği TR₁-TR₂ elektrik sondajlarının ortaya koyduğuna göre sağlam olarak nitelendirilen seviyeler, beyaz sütunlarla gösterilmekte, siyah olarak taranmış kolonlar ise düşük rezistivite değerleriyle karakterize edilen fay ve ezilme zonlarına denk düşmektedir. Şekil 1'de beyaz kolonlarla gösterilen gerçek özdirençleri çoğu kez 2600 ohm.m değerini aşmaktadır. Siyah kısımlarda özdirenç 100 ohm değerine düşebilmektedir. Laboratuvarda birçok karot özdirenci saptanmış ve özdirençler 698-1145 ohm.m arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

Tünel hafriyatı sırasında taşıdıkları fiziksel sorunlar nedeniyle (kaya düşmesi su sızması vs. gibi) önemli zaman kaybına ve önemli tedbirlerin alınmasını zorunlu kılacak bölümler siyah olarak taranmış sütunların tünel kotu çizgisini kestiği bölgelerde beklenebilecektir. Km : 53+040-53+370 arasında kaya düşmeleri ve su sızıntıları beklenebilecektir. Zira bu bölümler S3 sondajının tünel kotundaki durumuna ve 2155 kotundaki ezilme zonlarına son derece benzemektedir. Bu sahada beklenebilecek fay eğimleri I, II, III ve IV olarak belirlenmiştir.

7. Tünel çıkışında yapılan sismik çalışmalar ve rezistivite sondajları AB hattının 8-10 metre altında dinamik elastisite modülü ve formasyon rezistivitesinin düşük olduğu bir seviyenin varlığını ortaya koymaktadır. Km: 54+546'da saptanan değerler şöyledir (Şekil 6) :

Özengi seviyesinden 8 metre derinliğine kadar $E_d = 334695 \text{ kg/cm}^2$ ve $\rho_t = 1360 \text{ ohm.m}$ değerleri ile karakterize edilen sağlam bir dasit seviyesi 8 metreden

itibaren kalınlığı 40 metreyi aşan $E_d = 147334 \text{ kg/cm}^2$, $\rho_t = 198 \text{ ohm.m}$ değerleriyle dikkati çeken bir ezilme zonu; elastisite modülü değerinde 2.3 gibi bir azalma ve rezistivite de ise 7 misli bir düşme bu kalın tabakanın faylı ve oldukça kırıklı olduğunu göstermektedir. Km : 54+496'da yüzeyde 10 metre kalınlığında 409539 kg/cm^2 elastisite modülüne sahip seviye, yerini 10 metre bir derinlikten sonra 280937 gösteren yukarıdaki seviyelerin kalınlık hesapları rezistivite sonuçlarıyla mümkün olabilmektedir.

8. Masuda (1962), Kudo (1960) kayaların dinamik özelliklerine dayanan ve çatlak katsayısı olarak bilinen bir katsayısı ile temel durumu ilişkileri aşağıdaki biçimde ifade etmektedirler:

K	Temel Durumu	Sınıfı
0 – 0.25	Çok iyi	A
0.25 – 0.50	İyi	B
0.50 – 0.65	Orta	C
0.65 – 0.80	Yeterli	D
0.80 – 1.00	Yetersiz	E

Burada çatlak katsayısı (K), laboratuvarında bulunan en yüksek dinamik elastisite modülü değerinden, arazide yerinde saptanan dinamik elastisite modülü değeri farkının gene laboratuvarında bulunan elastisite modülü değerine oranına eşittir. Bu ifade kısaca aşağıdaki tarzda belirlenir.

$$K = \frac{E_{d\max} - E_d}{E_{d\max}}$$

Tablo 1'de 5 ve 6. sütunlarda tünel boyunca mevcut kayanın Masuda ve Kudo'nun yaklaşımı yapılarak durumları ortaya konmuştur.

Tünel içinde bu sınıflandırma yapıldığında yeterli © ve çok iyi (A) arasında Bir değişme görülmüştür.

Soil test firmasının imal edile CT-366 Sonometer aygıtıyla ASTM-C 215-60 nolu şartname esas tutularak kayanın üzerinde "Rezonans Frekans" yöntemi uygulanmış ve laboratuvar şartları altındaki kayanın dinamik Young elastisite modülü en büyük değeri 437632 kg/cm^2 olarak saptanmıştır. Bu değer yukarıdaki formülde

K'nın hesaplanmasında kullanılmıştır. Ancak Masuda ve Kudo'nun yukarıdaki yaklaşımına şu yönden bir itiraz yapılabilir:

Bilindiği gibi laboratuvarda kayalar üzerinde “Rezonans Frekans” yöntemi uygulandığında kayanın serbest olmasına dikkat gösterilir ve herhangi bir statik yük etki ettirilmez. Bu şartlar altında kaya, çeşitli frekanslarda sonik dalgalara maruz bırakılarak dinamik elastisite değerleri saptanır. Tünel içindeki gerçek statik yüklerin durumu araştırıldığında laboratuvar şartları altındaki durumlardan tamamen farklı bir durum görülmektedir. Tünelin açıldığı yönlerde yerleştirilen ekstensometre ölçülerinden 1.5 ay zarfında kayalar üzerinde 63 kg/cm^2 kadar bir kuvvet ilaveten birikmiş olduğu görülmüştür (Ref 9).

King, 1968 tarafından yapılan araştırmalar, kayaların dinamik elastisite modülü değerlerinin, statik yüklerin artma gösterdiği sürece yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçtan hareket ederek tünel içinde mevcut statik yüklerin üzerine binen dinamik yükler (dinamit patlatılmasıyla oluşan yükler) o anda tünel üzerine birikmiş olan statik yüklerin durumuna göre farklı hız değerleri verebilecektir. Bu nedenle tünel içinde derinlerde yer alan ve içlerinde öneli kırık ve fay zonları içeren kaya kütleleri üzerine birikmiş olan statik yükler nedeniyle olduklarından fazla elastisite modülü değerleriyle karakterize edilebilirler. Bu son durum Masuda tarafından belirlenen “K” değerleri üzerinde etkili olabilirler ve “Yeterli olarak tanımlanan bir kayayı “Yetersiz” bir gruba sokabilir. Bu durumun belirlenmesi amacıyla laboratuvarda çeşitli statik yükler altında kayaların dinamik elastisite modülü değerlerinin saptanmasıyla ilgili araştırmalar ilerlemektedir.

Ayrıca tünel içinde sismik dalga amplitüt sönümlerine ait çalışmalar tamamlanmış $Q_a \cdot \square$ ile P dalga hız arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Ref 11). Tünel içinde yapılan Wenner elektrot sondajları için kullanılan $\rho_a = (\square \cdot a) \cdot \Delta V / I$ formülü; a: elektrot aralığının artmasıyla yarı sonsuz ortamdan çıkılması nedeniyle baştaki katsayı değeri $2p$ ile $4p$ arasında incelenmiştir. Bu yolda hazırlanan rezistivite eğrileri derinlerdeki fay ve ezilme zonları nedeniyle düşük hız veren tabakaların kalınlık hesaplarında kullanılmıştır (Şekil 7). Yukarıdaki araştırmalar yazar tarafından ayrı bir makale olarak sunulacaktır. Masuda ve Kudo tarafından geliştirilen yukarıdaki yöntem, tünel girişinde karşılaşılan zeminlerin durumlarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 5'de tünel girişinin genişletme çalışmaları yapılmadan önceki durumu görülmektedir. Bu şekilde ayrıca girişteki kırık doğrultuları ve mevcut kuvvetlerin dağılımları şematik olarak gösterilmiştir.

Tünel kaplamasına başlamadan önce tabanda genişletme çalışmaları yapılmaktaydı. Tünel çalışmalarından sorumlu firma tarafından bir sismik kırılma araştırılması istenmiş ve görüldüğü gibi kısa off-set ve dar jeofon aralıklı karşılıklı sismik kırılma atışlarıyla tünel ağzının hemen üzerindeki durumu araştırılmıştır.

Masuda ve Kudo'nun çatlak katsayısı $V_p = 2193$ m/s değeri kullanılarak $K = 0.892$ olarak bulunmuştur. Bu değer zemini "Kötü" E olarak sınıflandırmaktaydı.

Tünel açılımını yürüten firma yetkililerine gerekli bilgiler verilmiş ve bazı önlemler alınmazsa tünel ağzındaki genişletme çalışmaları sırasında 1.2 ve 3 nolu dasit bloklarının çökebileceği bildirilmişti. Firma yetkilisi tünel açılımının zaman baskısı altında bulunduğu gerekçesiyle hiçbir önlem alınmadan genişletme çalışmalarının süreceğini bildirmişti. Ancak genişletme çalışmaları sırasında 1,2,3 nolu bloklar çökerek tünel ağzını uzun bir süre tıkadı. Tünel içerisine girilemediği için tünel açılımı durmuş, çökmeler nedeniyle tünel girişinin hemen üstündeki servis yolu tahrip olmuş ve çimento deposunun duvarları çatlamıştır. İşçi koğuşları ve jeneratör merkezi kullanılamaz hale gelerek terkedilmişlerdir. Ayrıca tünel ağzı temizliği sırasında kullanılan bir kepçe üzerine büyük bir blok düşerek onu tamamen ezmiştir. Yetkililerden öğrenildiğine göre bütün bu gelişmeler Zigana Tüneli 6 ay geriye bırakmıştır.

Bu örnek açıkça göstermiştir ki yerinde ve laboratuvar çalışmaları beraberce kullanıldıklarında zeminde gözle görülmeyen bir çok önemli özellikler ortaya çıkarmaktadır. Burada göz önüne alınacak önemli nokta, tünel kazımı ile görevli inşaat mühendisinin tünel ile ilgili önemli bir karar vermeden önce jeofizik sonuçları dikkate almasıdır. Bunun aksine bir gelişme, kayıplara ve zaman israfına yol açacaktır. Tünel jeofizik çalışmalarının Türkiye'de henüz başlatılmış olması, başlangıçta jeofizik verilere karşı bazı meslek gruplarında şüpheler doğurabilir.

Jeofizik biliminin önemli projelerde her zaman aranan ve ayrıca onsuz yapılamayacak mükemmellikte uygulama örnekleri verebileceği günler gelmiştir.

REFERANSLAR

1. ACAR Naci, 1975; *Trabzon-Gümüşhane devlet yolu Zigana Tüneli sondajı raporu, TCK Araştırma Fen Heyeti Md.*
2. YILMAZ B.Sabri, *Gümüşhane-Torul-Zigana Geçidi yöresinin 1/5000 ölçekli jeolojik harita ve raporu, MTA Enstitüsü*
3. BÜYÜKKÖSE Nevzat, 1975; *Kayalarda Dinamik Elastisite özelliklerinin belirlenmesi (Tez), İstanbul Üniversitesi Jeofizik Kürsüsü*
4. MASUDA H, 1962; *Geophysical Exploration and Measurement of Physical Properties of the Rocks CRIEPI*
5. MOONEY H.M., 1974; *Seismic Shear Wave in Engineering ASCE Vol 100 905-923*
6. SCOTT J.H., Roderick D.C., 1966; *Elastic Moduli of Granitic Rock from in Situ Measurements of Seismic Velocity*
7. KURAN Uğur, 1975; *60 mekanik sondaj kuyusu neticesinin sismik kırılma ve rezistivite sonuçlarıyla korelasyonu*
8. KING M.S., 1968; *Ultrasonic Compressional and Shear-Wave Velocities of Confined Rock Samples*
9. KURAN Uğur, 1977; *Zigana Tüneli içinde ve heyelan sahalarında ekstensometrelerle elde edilen kuvvet/ deformasyon-deformasyon/zaman olayının tanımı, Türkiye Jeofizikçiler Derneği Yayınları*
10. KURAN Uğur, 1978; *Kaya Mekaniği ile Jeofizik Yöntemler arasındaki önemli ilişkiler ve bunların ışığında temel kaya içinde yer alan fay zonlarının yüzeyden Wenner Elektrik sondajlarıyla bulunması, Jeofizikçiler Derneği Seri Konferansı2*
11. KURAN Uğur, 1966; *Temel Etütlerinde Sismik Hızı ve Rezistivite sonuçlarının korelasyonu, bunların kayaçların litolojik karakterleriyle olan ilişkileri, E.İ.E Bülteni Cilt 1, Sayı 11*
12. KUDO Shin-Ichi, 1960; *Survey on foundation Rocks of Dams by Geophysical methods PWRI, Japan*